PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 9. 25. November 1899. 1. Jahrgang.

INHALT.

Originalmitteilungen.
I. Klemenčič, Untersuchungen über permanente Magnete.
I. Über die Abhängigkeit des Temperaturkoefficienten vom Dimensionsverhältnisse. S. 89.
St. Meyer u. E. R. v. Schweidler, Über das Verhalten von Radium und Polonium im magnetischen Felde. S. 90.
Mitteilungen aus dem physikalischen Institute der Universität Groningen (Direktor H. Haga).
No. 1. H. Haga und C. H. Wind, Beugung und Wellenlänge der Röntgenstrahlen. S. 91.
Vorträge etc.
L. Boltzmann, Über die Entwickelung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit. (Schluss.) S. 92.
Vorträge und Discussionen von der 71. Naturforscherversammlung zu München:
10. C. Pulfrich, Über den von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellten stereoskopischen Entfernungsmesser. S. 98.
Referate:
H. Specketer, Über eine quantitative elektrolytische Trennungsmethode der Halogene Chlor, Brom, Jod. S. 104.
Personalien. S. 104.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Untersuchungen über permanente Magnete.

I. Über die Abhängigkeit des Temperaturkoefficienten vom Dimensionsverhältnisse.[1])

Von Ignaz Klemenčič.

Untersucht wurden die Temperaturkoefficienten von 18 verschiedenen Magnetstäben aus steirischem Wolframstahl, welche mir von der Firma Böhler & Cie. in Wien geliefert worden waren. Diese 18 Stäbe bildeten vier Gruppen, von denen jede eine Anzahl von mehreren ganz gleichen und gleich behandelten Stücken enthielt, die sich nur durch die Länge unterschieden. Drei Gruppen mit dem Fabrik-Kennzeichen „UI", „45" und „00" enthielten je fünf Magnete von den Längen 15, 10, 8, 6 und 4 cm bei einem für alle gleichen quadratischen Querschnitte von 4 mm Seite. Eine vierte Gruppe enthielt drei Stücke von der Magnetstahlsorte mit dem Kennzeichen „45"; sie hatten die Längen 9, 6 und 3 cm und einen quadratischen Querschnitt von 6 mm Seite. Die Härtung wurde für die einzelnen Magnete einer Gruppe möglichst gleich gehalten und von der Firma Böhler & Cie. selbst besorgt. Ich verstehe unter dem Dimensionsverhältnisse den Quotienten Länge : Seite; es ergeben sich daher aus den obigen Daten für die ersten drei Gruppen die Dimensionsverhältnisse 37·5, 25, 20, 15 und 10; für die letzte Gruppe die Werte 15, 10 und 5.

Um einen Aufschluss über die Gleichmässigkeit der Härtung zu bekommen, wurde der spec. elektr. Leitungswiderstand der einzelnen Stäbe untersucht.

1) Sitzungsber. der Kais. Akad. der Wiss. in Wien, Math. Kl. Bd. 108, 1899, S. 491.

Die Bestimmung des Temperaturkoefficienten geschah nach der Weberschen Methode, wobei jedoch die Ablenkung der Magnetometernadel durch eine Galvanometerspule und einen entsprechend starken Strom abkompensiert wurde.

Die Beobachtungstemperaturen lagen einerseits bei circa 9°, andererseits ungefähr bei 32°. In der nachfolgenden Tabelle sind die Resultate verzeichnet. Darin bedeutet:

„Bez." die Bezeichnung des Magnetes mit dem Fabrik-Kennzeichen und rechts daneben beigefügter Länge in Centimetern.
σ den spec. elektr. Widerstand in Ohm.
V das genaue Dimensionsverhältnis.
μ den Temperaturkoefficienten.
C das Produkt $\mu \times V \times 10^4$.

Bez.	σ	V	μ	C
45·4	39·8	9·9	0000437	42·2
45·6	39·1	15·2	301	46·5
45·8	39·5	20·6	213	43·7
45·10	39·1	25·4	176	44·8
45·15	38·3	37·7	135	51·8
UI,4	36·8	10·1	0000477	48·1
UI,6	36·2	15·2	352	53·5
UI,8	35·2	20·8	257	53·5
UI,10	36·6	25·3	210	53·2
UI,15	37·1	37·8	140	53·2
00,4	45·2	10·3	0000275	28·3
00,6	45·4	15·5	179	27·6
00,8	45·8	20·3	137	27·6
00,10	43·6	25·6	155	39·6
00,15	43·7	37·6	141	53·0
45·3	34·2	5·0	0000707	35·7
45·6	34·0	10·1	486	49·1
45·9	33·6	15·2	359	54·5

Aus dieser Tabelle ist das Gesetz für die Abhängigkeit des Temperaturkoefficienten vom Dimensionsverhältnisse ziemlich gut zu erkennen. Die Produkte C sind nämlich im allgemeinen für die Probestücke einer Gruppe nahezu konstant, obwohl es sich nicht bestreiten lässt, dass mitunter ganz bemerkbare Abweichungen von dieser Regel vorkommen. Hierfür lässt sich jedoch ein ziemlich annehmbarer Grund finden, der diese Abweichungen wenigstens qualitativ erklärt.

Die Konstanz von C bedeutet, dass der Temperaturkoefficient dem Dimensionsverhältnisse verkehrt proportional ist.

Die Abweichungen des Wertes C von einer vollkommenen Konstanz lassen sich nun in zwei Kategorien einteilen. 1. In ziemlich grobe Abweichungen, wie sie sich etwa in der Gruppe „00" für die Magnete 00,10 und 00,15 und in der letzten Gruppe namentlich für 45·3 ergeben. 2. In kleinere Abweichungen, wie sie z. B. in der ersten Gruppe „45" für die beiden Endmagnete auftreten. Fasst man die Gruppe „45" ins Auge, so erkennt man sehr deutlich, dass die Schwankungen von C mit den Werten von σ gerade verkehrt laufen. Bei durchaus gleichen Werten von σ würde auch C ganz konstant sein. Auch in Gruppe UI finden sich ähnliche kleine Schwankungen, wenn auch deren Zusammenhang mit σ nicht so deutlich ausgeprägt ist wie bei „45".

Die groben Abweichungen bei 00,10 und 00,15 dürften nun auch, wenigstens zum grössten Teile, durch die Verschiedenheit von σ erklärt werden können. Zu den Abweichungen der letzten Gruppe „45" muss bemerkt werden, dass der Wert von μ für 45·3 bei einem Moment von 67 abs. E. gilt. Dieser Magnet war aber noch nicht im Maximum der Sättigung wie die übrigen Magnete, die durchweg grössere Dimensionsverhältnisse hatten. Die Abweichungen bei 45·3 können also ganz gut auch auf diesen Umstand zurückgeführt werden.

Das gefundene Gesetz kann jedenfalls nur für das Gebiet der hier untersuchten Dimensionsverhältnisse, deren Wert zwischen 10 und 37·5 liegt, als bewiesen angesehen werden.

(Eingegangen 9. Novbr. 1899.)

Über das Verhalten von Radium und Polonium im magnetischen Felde.

Von Stefan Meyer und Egon R. v. Schweidler.

Herr Dr. F. Giesel (Braunschweig) hatte die Freundlichkeit, uns von seinem Baryum-Radiumchlorid 2 g zu Untersuchungen im magnetischen Felde zu überlassen, und ausserdem verfügten wir über geringe Mengen von Radium- und Poloniumpräparaten, die von H. Curie (Paris) stammten. Die vorläufigen Ergebnisse unserer Beobachtungen seien im folgenden kurz zusammengestellt.

1. Susceptibilität.

Die Bestimmung der Magnetisierungszahl des Gieselschen Radiumpräparates ergab nach der von einem von uns früher angegebenen Methode[1])

g	a	p	$\varkappa 10^6$	t
1·501	1404	—0·0143	—0·553	15°,

wobei $g, a, p, \varkappa$ und t die loco citato angegebene Bedeutung haben.

Nimmt man als Molekulargewicht der Substanz diejenige von reinem $BaCl_2$, $\mu = 208\cdot 3$ an, so berechnet sich die molekulare Magnetisierungszahl $k = -0\cdot 08.10^{-6}$, für eine Formel von $BaCl_2 + 2H_2O$ würde $k = -0\cdot 09.10^{-6}$. Diese Werte unterscheiden sich nur etwa um eine Einheit der zweiten Dezimale von den für die Baryumchloride[2]) gefundenen, also nicht um so viel, dass man ohne Kenntnis des wahren Molekulargewichtes der Substanz einen bestimmten Schluss auf das magnetische Verhalten von Radium daraus ziehen könnte. Wenn das Radium des früher untersuchten Curieschen Präparates[3]) mit demjenigen aus der Verbindung des Herrn Giesel identisch ist, was mit Rücksicht auf die später angegebenen Thatsachen zweifelhaft erscheint, so müsste der damals gefundene paramagnetische Wert auf relativ starke Verunreinigungen (Eisen?) zurückgeführt werden.

2. Verhalten der Strahlung im Felde.

Die entladende Wirkung des Radium auf elektrisierte Körper erwies sich im magnetischen Felde als sehr geschwächt.

Zur genaueren Untersuchung dieser Erscheinung wandten wir die folgenden Versuchsanordnungen an, welche einerseits die Beeinflussung der Entladung, andererseits eine eventuelle direkte Wirkung des Feldes auf die Strahlung klarlegen sollten.

A. Beeinflussung der Entladung.

Zwischen den Polschuhen unseres Elektromagneten befand sich eine beiderseits offene zur Erde abgeleitete Messingröhre. In dieselbe ragte von oben axial ein mit dem Elektroskop

1) St. Meyer, Wied. Ann. 68, S. 325, 1899.
2) St. Meyer, Wied. Ann. 69, S. 242, 1899.
3) l. c. S. 245.

verbundener runder Metallstab. Etwa 12 cm unterhalb lag in kleinem Papiercouvert das Gieselsche Präparat, so dass die durch das offene untere Rohrende eintretenden Strahlen eine dem Stabe mitgeteilte Ladung rasch zerstreuten. Wurde nun das Feld von circa 17000 [*CGS*] erregt, so verlangsamte sich dieser Vorgang bedeutend.

So ergab sich beispielsweise die Zeit, in welcher die Divergenz der Elektroskopblättchen von einem bestimmten Werte auf die Hälfte sank, ohne Feld zu 15 sec, nach Erregung desselben zu 95 sec, stieg also auf ungefähr das Sechsfache.

Dieser Versuch zeigt eine Analogie mit den von den Herren Elster und Geitel[1]) in verdünnter Luft (circa 1 mm Druck) gemachten Beobachtungen, beweist aber, dass bei Anwendung hinreichend grosser Feldstärken das Phänomen auch bei Atmosphärendruck nicht nur beobachtbar, sondern sogar sehr auffallend ist.

Da nach der Theorie nur zur Richtung des Feldes senkrechte Komponenten der Strombahnen beeinflusst werden, versuchten wir mittels einer anderen Anordnung (Elektricitätsübergang zwischen zwei parallelen Plättchen) eine Abhängigkeit von der Orientierung des Apparates nachzuweisen, konnten aber zu keinem deutlichen Resultate kommen, vermutlich weil der Einfluss der in grosser Nähe befindlichen Polschuhe sowie der Zuleitungen sich nicht eliminieren liess, vielleicht aber auch, weil die unter B. besprochenen Erscheinungen hier gleichfalls mitspielen. Im allgemeinen erhielten wir Verminderung der Wirkung auf $^1/_6$ bis $^1/_{10}$ bei einer Feldstärke von circa 17000 [*CGS*], bei einer solchen von etwa 10000 [*CGS*] auf rund $^1/_4$.[2])

Auch bei Verwendung des Curieschen Radiumpräparates zeigte sich bei einer ähnlichen Anordnung dieselbe Erscheinung, wenn auch in schwächerem Masse.

B. Beeinflussung der Strahlung.

Wurde das Gieselsche Radiumpräparat selbst zwischen die Polschuhe des Magneten gebracht und ein dem ersten Apparate analoger (mit dem Elektroskope verbundener Stab in zur Erde abgeleiteter Röhre) in einer Entfernung von circa 20 cm aufgestellt, so zeigte sich wieder eine starke Vergrösserung der Entladungsdauer und zwar bis auf etwa das Zwanzigfache, unter Berücksichtigung des Isolationsfehlers des Elektroskopes, bei 17000 [*CGS*].

Versuche über die Abhängigkeit der Erscheinung von der Feldintensität ergaben, dass die Entladungsverzögerungen zwischen 10000 und 17000 [*CGS*] überhaupt nicht mehr sehr stark verschieden sind, doch schienen sie uns bei einem mittleren Werte ein Minimum zu zeigen, so dass wir glauben, annehmen zu müssen, dass hier mindestens zwei verschiedene Einflüsse thätig sind. Wir behalten es uns vor, hierauf noch eingehender zurückzukommen.

Da in unserem Falle das Gebiet, in welchem die Entladung vor sich geht, sicherlich nur mehr sehr wenige magnetische Kraftlinien enthält, so wäre die Ursache dieser Erscheinung nur in einer direkten Beeinflussung der Emission der Substanz selbst zu suchen, wenn eine Ablenkung der Strahlen nicht stattfände.[1])

Sehr merkwürdig war hier das Verhalten der Curieschen Präparate.

Das Radium-Baryumkarbonat zeigte unter genau gleichen Versuchsbedingungen, bei denen das Gieselsche Präparat einen Unterschied der Entladungsdauer von 22 sec ohne Feld auf 250 sec bei 17000 [*CGS*] ergab, bloss die kaum nachweisbare Entladungsverzögerung von 20 sec auf 23 sec.

Bei Polonium-Wismutnitrat in ähnlicher Anordnung konnten wir überhaupt keine Beeinflussung durch das Feld feststellen. Es war dies ein Präparat, das im Gegensatz zu den Erfahrungen Herrn Giesels seine Wirksamkeit im Verlaufe von nunmehr fünf Monaten nicht eingebüsst hatte und auch in Form einer Lösung aktiv bleibt.

Während eine Verschiedenheit der Radium- und Poloniumstrahlung aus den Absorptionserscheinungen bereits sichergestellt ist, deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass auch die als radiumhaltig bezeichneten Substanzen Strahlen wesentlich verschiedener Natur auszusenden vermögen.

Wien, Physik. Inst. d. Univ., Oktober 1899.

(Eingegangen 10. Novbr. 1899.)

1) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. 69, S. 89, 1899.

2) Diese angenäherten Angaben sind ohne Korrektur für den Elektricitätsverlust des nicht völlig isolierenden Elektroskops zu verstehen.

1) Vgl. J. Elster und H. Geitel, l. c. S. 90.

Mitteilungen aus dem physikalischen Institute der Universität Groningen (Direktor H. Haga).

1. Beugung und Wellenlänge der Röntgenstrahlen.

Von H. Haga und C. H. Wind.

Unter diesem Titel erschien in No. 5, S. 57 dieser Zeitschrift ein Auszug aus der Münchener Inauguraldissertation von Herrn Dr. M. Maier. S. 59 werden auch unsere Versuche erwähnt und im Anschluss daran heisst es: „Dass die im Spaltbilde beobachteten Fommschen Streifen auf einer optischen Täuschung beruhen, wie Haga und Wind glauben, müsste erst experimentell mit

gewöhnlichen Lichtstrahlen nachgewiesen werden." Wenn wir diesen Satz richtig verstehen, meint Herr Maier, dass es noch fraglich ist, ob die Fommschen Streifen auf einer optischen Täuschung beruhen, und dass es noch nicht gelungen ist, dergleichen Streifen mit gewöhnlichem Lichte zu erhalten.

Nun haben wir aber in der von Herrn Maier citierten Arbeit: Wied. Ann. Bd. 68, 1899, S. 886 die Versuchsbedingungen angegeben, mit denen das Angezweifelte sehr leicht zu erreichen ist: „Es wurde angewandt als Lichtquelle ein Cirkonbrenner, ein 4 mm breiter Lichtspalt, ein 1·5 bis 7 mm breiter Beugungsspalt und eine Entfernung beider Spalte von 70 cm. Auf einem 300 cm entfernten Schirme sah man deutlich zwei ganz mit den Fommschen Streifen übereinstimmende Maxima; beim keilförmigen Spalt verhielten sich diese Maxima ganz genau, wie es oben von den mit Röntgenstrahlen entstandenen Streifen erwähnt wurde. Objektiv kann man diese Erscheinungen mit elektrischem Lichte im Hörsaale demonstrieren; auch photographische Aufnahmen lassen sich bequem machen." Dass diese Fommschen Streifen nun nicht reell sind, sondern nur auf einer optischen Täuschung beruhen, ist von einem von uns bewiesen: vgl. Proceedings Royal Acad. of Sciences, Amsterdam, 28. Mai 1898, wo auch Abbildungen, wenn auch nicht alle gut gelungen, zu sehen sind.

Unserer Meinung nach unterliegt es keinem Zweifel, dass die von Herrn Maier erhaltenen Streifen nicht reell sind.

Dass Herr Maier mit Fokusröhren „immer nur ein reines Spaltbild ohne irgend welche Verbreiterung" erhielt, erklärt sich vollständig aus den grossen von ihm gebrauchten Spaltbreiten. Wir haben ebensowenig Beugung erhalten mit 50 μ breiten Spalten; erst als die Breite des ersten Spaltes 14 μ, des keilförmigen zweiten Spaltes 2 bis 14 μ, die Entfernungen a und b 75 cm gewählt wurden, erhielten wir unsere Resultate, allerdings nur bei einer Expositionszeit von 100 Stunden und länger.

Groningen, Novbr. 1899.

(Eingegangen 11. Novbr. 1899.)

VORTRÄGE ETC.

Über die Entwickelung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit.

Von Ludwig Boltzmann.

(Fortsetzung und Schluss.)

Man begreift nach dem Gesagten, dass sich gewisse Erscheinungen, wie die freie Bewegung starrer Systeme, aus Hertz' Theorie mit Leichtigkeit ergeben. Bei den übrigen Erscheinungen muss Hertz das Vorhandensein verborgener, in Bewegung begriffener Massen annehmen, durch deren Eingriff in die Bewegung der sichtbaren Massen sich erst die Gesetze der Bewegung der letzteren erklären, welche daher dem ebenfalls verborgenen, die elektromagnetischen und Gravitationswirkungen erzeugenden Medium entsprechen. Aber wie sind diese uns völlig unbekannten Massen in jedem Falle zu denken? Ja, ist es überhaupt allemal möglich, durch sie zum Ziele zu gelangen? Die Struktur der ehemals gebräuchlichen Medien und auch des Maxwellschen Lichtäthers darf ihnen nicht beigelegt werden, da ja in allen diesen Medien solche Kräfte wirkend gedacht wurden, welche Hertz gerade ausschliesst.

Wenn sich nun schon in ganz einfachen mechanischen Beispielen nur ganz unverhältnismässig komplizierte Systeme verborgener Massen finden lassen, welche das Problem im Sinne der Hertzschen Theorie lösen, ist der Wert der letzteren doch nur ein rein akademischer.

Die Hertzsche Mechanik scheint mir daher mehr ein Programm für eine ferne Zukunft zu sein. Wenn es einst gelingen sollte, alle Naturvorgänge durch solche verborgene Bewegungen im Hertzschen Sinne in ungekünstelter Weise zu erklären, dann würde die alte Mechanik durch die Hertzsche überwunden sein. Bis dahin ist die erstere die einzige, welche alle Erscheinungen wirklich in klarer Weise darzustellen vermag, ohne Dinge beizuziehen, die nicht nur verborgen sind, sondern von denen man auch gar keine Ahnung hat, wie man sie denken soll.

Hertz hat in seinem Buche über Mechanik, ebenso wie die mathematisch-physikalischen Ideen Kirchhoffs, auch die erkenntnistheoretischen Maxwells zu einer gewissen Vollendung gebracht. Maxwell hatte die Hypothese Webers eine reale physikalische Theorie genannt, womit er sagen wollte, dass ihr Autor objektive Wahrheit dafür in Anspruch nahm, seine eigenen Ausführungen dagegen bezeichnete er als blosse Bilder der Erscheinungen. Hieran anknüpfend, bringt Hertz den Physikern so recht klar zum Bewusstsein, was wohl die Philosophen schon längst ausgesprochen

hatten, dass keine Theorie etwas Objektives, mit der Natur sich wirklich Deckendes sein kann, dass vielmehr jede nur ein geistiges Bild der Erscheinungen ist, das sich zu diesem verhält wie das Zeichen zum Bezeichneten.

Daraus folgt, dass es nicht unsere Aufgabe sein kann, eine absolut richtige Theorie, sondern vielmehr ein möglichst einfaches, die Erscheinung möglichst gut darstellendes Abbild zu finden. Es ist sogar die Möglichkeit zweier ganz verschiedener Theorien denkbar, die beide gleich einfach sind und mit den Erscheinungen gleich gut stimmen, die also, obwohl total verschieden, beide gleich richtig sind. Die Behauptung, eine Theorie sei die einzig richtige, kann nur der Ausdruck unserer subjektiven Überzeugung sein, dass es kein anderes gleich einfaches und gleich gut stimmendes Bild geben könne.

Zahlreiche Fragen, die früher unergründlich schienen, entfallen hiermit von selbst. Wie kann, sagte man früher, von einem materiellen Punkte, der ein blosses Gedankending ist, eine Kraft ausgehen, wie können Punkte zusammen Ausgedehntes liefern u. s. w.? Jetzt weiss man, dass sowohl die materiellen Punkte, als auch die Kräfte blosse geistige Bilder sind. Erstere können nicht Ausgedehntem gleich sein, aber es mit beliebiger Annäherung abbilden. Die Frage, ob die Materie atomistisch zusammengesetzt oder ein Continuum ist, reduziert sich auf die viel klarere, ob die Vorstellung enorm vieler Einzelwesen oder die eines Continuums ein besseres Bild der Erscheinungen zu liefern vermöge.

Wir sprachen zuletzt hauptsächlich über Mechanik. Eine die ganze Physik ergreifende Umwälzung wurde in Anknüpfung an das rapide Anwachsen der Bedeutung des Energieprinzips versucht. Wir erwähnten dieses Prinzip schon einmal ganz beiläufig als eine durch die Erfahrung bestätigte Konsequenz der mechanistischen Naturanschauung. Nach dieser erscheint die Energie als ein bekannter, aus schon früher eingeführten Grössen (Masse, Geschwindigkeit, Kraft, Weg) in gegebener Weise zusammengesetzter mathematischer Ausdruck, bar alles Geheimnisvollen, und da sie Wärme, Elektricität u. s. w. als Bewegungsformen von teilweise freilich ganz unbekannter Natur ansieht, so sieht sie im Energieprinzip eine wichtige Bestätigung ihrer Schlüsse.

Wir begegnen einer Würdigung desselben übrigens schon in der ersten Kindheit der Mechanik. Leibniz sprach von der Substantialität der Kraft, worunter er die Energie meint, fast mit denselben Worten, wie die modernsten Energetiker; aber er lässt beim unelastischen Stosse aus der lebendigen Kraft Deformation, Bruch von Kohärenz und Textur, Spannung von Federn u. s. w. entstehen; davon, dass Wärme eine Energieform sei, hat er keine Ahnung. Dubois Reymond ist daher auch sachlich vollkommen im Unrechte, wenn er in seiner Gedächtnisrede auf Helmholtz Robert Mayer nochmals zu verkleinern sucht und ihm die Priorität der Entdeckung der Äquivalenz von Wärme und mechanicher Arbeit abspricht. Letzterer bekannte sich übrigens keineswegs zur Ansicht, dass die Wärme Molekularbewegung sei, er hielt sie vielmehr für eine vollständig neue Energieform und behauptete nur ihre Äquivalenz mit der mechanischen Energie. Auch die Physiker, welche der ersteren Ansicht huldigten, vor allen Clausius, unterschieden strenge zwischen den Sätzen, welche allein aus ihr folgen, der speciellen Thermodynamik, und denen, welche unabhängig von jeder Hypothese über die Natur der Wärme aus feststehenden Erfahrungsthatsachen abgeleitet werden können, der allgemeinen Thermodynamik.

Während nun die specielle Thermodynamik nach einer Reihe glänzender Resultate wegen der Schwierigkeit, die Molekularbewegungen mathematisch zu behandeln, ins Stocken geriet, erzielte die allgemeine eine Fülle von Resultaten. Man fand, dass die Temperatur dafür ausschlaggebend ist, wann und in welcher Menge sich Wärme und Arbeit ineinander umsetzen. Der Zuwachs der zugeführten Wärme stellte sich als Produkt der (sogenannten absoluten) Temperatur und des Zuwachses einer anderen Funktion dar, welche man nach Clausius' Vorgang die Entropie nennt. Aus dieser konstruierte nun besonders Gibbs neue Funktionen, wie die später als thermodynamisches Potentiale bei konstanter Temperatur, konstantem Druck u. s. w. bezeichneten, und gelangte mit ihrer Hilfe zu den überraschendsten Resultaten auf den verschiedensten Gebieten, so der Chemie, Kapillarität u. s. w.

Man fand ferner, dass Gleichungen von analoger Form auch für die Verwandlung der anderen Energieformen, elektrischer, magnetischer, Strahlungsenergie u. s. w., ineinander gelten, und dass da namentlich auch überall Zerlegungen in zwei Faktoren mit ähnlichem Erfolge vorgenommen werden können. Dies begeisterte eine Reihe von Forschern, die sich selbst Energetiker nennen, so sehr, dass sie die Notwendigkeit des Bruches mit allen bisherigen Anschauungen lehrten, gegen die sie einwandten, der Schluss von der Äquivalenz von Wärme und lebendiger Kraft auf deren Identität sei ein Fehlschluss, als ob für diese Identität bloss der Äquivalenzsatz, nicht auch so vieles andere spräche.

Der Energiebegriff gilt der neuen Lehre als der einzig richtige Ausgangspunkt der Na-

turforschung. Die Zerlegbarkeit in zwei Faktoren und ein sich daran schliessender Variationssatz als das Fundamentalgesetz der gesamten Natur. Jede mechanische Versinnlichung, warum die Energie gerade die kuriosen Formen annimmt und in jeder derselben zwar ähnlichen, aber doch wieder wesentlich anderen Gesetzen folgt, halten sie für überflüssig, sogar schädlich, und die Physik, ja die ganze Naturwissenschaft der Zukunft ist ihnen eine blosse Beschreibung des Verhaltens der Energie in allen ihren Formen, eine Naturgeschichte der Energie, was freilich, wenn man unter Energie überhaupt alles Wirksame versteht, zum Pleonasmus wird.

Unzweifelhaft sind die Analogien des Verhaltens der verschiedenen Energieformen so wichtig und interessant, dass ihre allseitige Verfolgung als eine der schönsten Aufgaben der Physik bezeichnet werden muss; gewiss rechtfertigt auch die Wichtigkeit des Energiebegriffes den Versuch, ihn als ersten Ausgangspunkt zu wählen. Es muss ferner zugegeben werden, dass die Forschungsrichtung, welche ich die klassische theoretische Physik genannt habe, hier und da zu Auswüchsen führte, gegen welche eine Reaktion notwendig war. Jeder Nächstbeste fühlte sich berufen, einen Bau von Atomen, Wirbeln und Verkettungen derselben zu ersinnen, und glaubte damit dem Schöpfer dessen Plan definitiv abgeguckt zu haben.

Ich weiss, wie fördernd es ist, die Probleme von den verschiedensten Seiten in Angriff zu nehmen, und mein Herz schlägt warm für jede originelle, begeisterte wissenschaftliche Arbeit. Ich drücke daher der Secession lebhaft die Hand. Nur schien mir, dass sich die Energetik oft durch oberflächliche, bloss formale Analogien täuschen liess, dass ihre Gesetze der in der klassischen Physik üblichen klaren und eindeutigen Fassung, ihre Schlüsse der dort herausgearbeiteten Strenge entbehrten, dass sie von dem Alten manches Gute, ja für die Wissenschaft Unentbehrliche mit verwarf. Auch schien mir der Streit, ob die Materie oder Energie das Existierende sei, ein Rückfall in die alte, überwunden geglaubte Metaphysik, ein Verstoss gegen die Erkenntnis, dass alle theoretischen Begriffe Vorstellungsbilder sind.

Wenn ich in allen Dingen meine Überzeugung rückhaltlos aussprach, so glaubte ich dadurch in nützlicherer Weise als durch Lob mein Interesse für die Fortentwickelung der Lehre von der Energie zu dokumentieren. Gleichwie in der Hertzschen Mechanik, so kann ich daher auch in der Lehre der Ableitbarkeit der gesamten Physik aus dem Satze von den zwei Energiefaktoren und dem angeführten Variationssatze nur ein Ideal für ferne Zukunft erblicken. Nur diese kann die heute noch ganz unentschiedene Frage beantworten, ob ein derartiges Naturbild besser als das frühere oder gar das beste ist.

Von den Energetikern kommen wir zu den Phänomenologen, welche ich als gemässigte Secessionisten bezeichnen möchte. Ihre Lehre ist eine Reaktion dagegen, dass die alte Forschungsmethode die Hypothesen über die Beschaffenheit der Atome als das eigentliche Ziel der Wissenschaft, die daraus sich für sichtbare Vorgänge ergebenden Gesetze aber mehr bloss als Mittel zur Kontrolle derselben betrachtet hatte.

Dies gilt freilich nur für deren extremste Richtung. Wir sahen, dass schon Clausius streng zwischen der allgemeinen, von Molekularhypothesen unabhängigen und der speciellen Thermodynamik unterschieden hatte. Auch viele andere Physiker, z. B. Ampère, Franz Neumann, Kirchhoff, legten ihren Ableitungen keine Molekularvorstellungen zu Grunde, wenn sie auch die atomistische Struktur der Materie nicht leugneten.

Eine Ableitungsweise finden wir da besonders häufig, welche ich die euklidische nennen möchte, da sie der von Euklid in der Geometrie angewandten nachgebildet ist. Es werden einige Sätze (Axiome) entweder als von selbst evident oder doch als unzweifelhaft erfahrungsmässig feststehend vorausgestellt, aus diesen dann zunächst gewisse einfache Elementargesetze als logische Konsequenzen abgeleitet und daraus erst schliesslich die allgemeinen (Integral-)Gesetze konstruiert.

Mit dieser und den molekulartheoretischen Ableitungsweisen war man bisher so ziemlich ausgelangt; anders bei Maxwells Theorie des Elektromagnetismus. Maxwell dachte sich in seinen ersten Arbeiten das den Elektromagnetismus fortpflanzende Medium ebenfalls als bestehend aus einer grossen Zahl von Molekülen, wenigstens von mechanischen Individuen, den Bau derselben aber so kompliziert, dass sie nur als Hilfsmittel zur Auffindung der Gleichungen als Schemata einer mit der thatsächlichen in gewisser Hinsicht analogen Wirkung, aber nimmermehr als endgültige Bilder des in der Natur Existierenden gelten können. Später zeigte er, dass nicht bloss diese, sondern auch viele andere Mechanismen zum Ziele führen würden, sobald dieselben nur gewisse allgemeine Bedingungen erfüllten; aber alle Bemühungen, einen bestimmten, wirklich einfachen Mechanismus zu finden, an dem alle diese Bedingungen erfüllt sind, scheiterten. Dies ebnete einer Lehre den Boden, welche ich am prägnantesten charakterisieren zu können glaube, wenn ich zum drittenmal auf Hertz zurückkomme, dessen in der Einleitung seiner Abhandlung über die Grundgleichungen der Elektrodynamik

niedergelegten Ideen für diese Lehre typisch sind.

Eine befriedigende mechanische Erklärung dieser Grundgleichungen hat Hertz nicht gesucht, wenigstens nicht gefunden; aber auch die euklidische Ableitungsweise verschmähte er. Mit Recht weist er darauf hin, dass in der Mechanik nicht die wenigen Experimente, aus denen gewöhnlich deren Grundgleichungen gewonnen werden, dass in der Elektrodynamik nicht die fünf oder sechs Fundamentalversuche Ampères es sind, was uns von der Richtigkeit aller dieser Gleichungen so fest überzeugt, sondern vielmehr ihre nachherige Übereinstimmung mit allen bisher bekannten Thatsachen. Er fällt daher das salomonische Urteil, es sei das Beste, nachdem man diese Gleichungen einmal habe, sie ohne jede Ableitung hinzuschreiben, dann mit den Erscheinungen zu vergleichen und in ihrer steten Übereinstimmung mit denselben den besten Beweis ihrer Richtigkeit zu erblicken.

Die Ansicht, deren Extrem hiermit ausgesprochen ist, fand die verschiedenste Aufnahme. Während die einen fast geneigt waren, sie für einen schlechten Witz zu halten, schien es anderen von nun als einziges Ziel der Physik, ohne jede Hypothese, ohne jede Veranschaulichung oder mechanische Erläuterung für jede Reihe von Vorgängen Gleichungen aufzuschreiben, aus denen ihr Verlauf quantitativ berechnet werden kann, so dass die alleinige Aufgabe der Physik darin bestünde, durch Probieren möglichst einfache Gleichungen zu finden, welche gewisse notwendige formale Bedingungen der Isotropie u. s. w. erfüllen, und sie dann mit der Erfahrung zu vergleichen. Dies ist die extremste Richtung der Phänomenologie, welche ich die mathematische nennen möchte, während die allgemeine Phänomenologie jede Thatsachengruppe durch Aufzählung und naturgeschichtliche Schilderung aller dahin gehörigen Erscheinungen zu beschreiben sucht ohne Beschränkung der dazu dienlichen Mittel, aber unter Verzicht auf jede einheitliche Naturauffassung, auf jede mechanische Erläuterung oder sonstige Begründung. Letztere ist charakterisiert durch den von Mach citierten Ausspruch, dass die Elektricität nichts anderes ist, als die Summe aller Erfahrungen, welche wir auf diesem Gebiete schon gemacht haben und noch zu machen hoffen. Beide stellen sich die Aufgabe, die Erscheinungen darzustellen, ohne über die Erfahrung hinauszugehen.

Die mathematische Phänomenologie erfüllt zunächst ein praktisches Bedürfnis. Die Hypothesen, durch welche man zu den Gleichungen gelangt war, erwiesen sich als unsicher und dem Wandel unterworfen, die Gleichungen selbst aber, wenn sie einmal in genügend vielen Fällen erprobt waren, standen wenigstens innerhalb gewisser Genauigkeitsgrenzen fest; darüber hinaus bedurften sie freilich wieder der Ergänzung und Verfeinerung. Schon für den praktischen Gebrauch ist es daher erforderlich, das Feststehende, Gesicherte vom Schwankenden möglichst reinlich zu sondern.

Es muss auch zugegeben werden, dass der Zweck jeder Wissenschaft, und daher auch der Physik, in der vollkommensten Weise erreicht wäre, wenn man Formeln gefunden hätte, mittels deren man die zu erwartenden Erscheinungen in jedem speciellen Falle eindeutig, sicher und vollkommen genau vorausberechnen könnte; allein dies ist ebenso ein unerfüllbares Ideal, wie die Kenntnis des Wirkungsgesetzes und der Anfangszustände aller Atome.

Wenn die Phänomenologie glaubte, die Natur darstellen zu können, ohne irgendwie über die Erfahrung hinauszugehen, so halte ich das für eine Illusion. Keine Gleichung stellt irgend welche Vorgänge absolut genau dar, jede idealisiert sie, hebt Gemeinsames heraus und sieht von Verschiedenem ab, geht also über die Erfahrung hinaus. Dass dies notwendig ist, wenn wir irgend eine Vorstellung haben wollen, die uns etwas Künftiges vorauszusagen erlaubt, folgt aus der Natur des Denkprozesses selbst, der darin besteht, dass wir zur Erfahrung etwas hinzufügen und ein geistiges Bild schaffen, welches nicht die Erfahrung ist und darum viele Erfahrungen darstellen kann.

Die Erfahrung, sagt Goethe, ist immer nur zur Hälfte Erfahrung. Je kühner man über die Erfahrung hinausgeht, desto allgemeinere Überblicke kann man gewinnen, desto überraschendere Thatsachen entdecken, aber desto leichter kann man auch irren. Die Phänomenologie sollte daher nicht prahlen, dass sie die Erfahrung nicht überschreitet, nur warnen, dies in zu hohem Masse zu thun.

Auch wenn sie kein Bild für die Natur zu setzen glaubt, irrt sie. Die Zahlen, ihre Beziehungen und Gruppierungen sind gerade so Bilder der Vorgänge, wie die geometrischen Vorstellungen der Mechanik. Erstere sind nur nüchterner, für die quantitative Darstellung besser, aber dafür weniger geeignet, wesentlich neue Perspektiven zu zeigen; sie sind schlechte heuristische Wegweiser; ebenso erweisen sich alle Vorstellungen der allgemeinen Phänomenologie als Bilder der Erscheinungen. Es wird daher wohl der beste Erfolg erzielt werden, wenn man stets alle Abbildungsmittel je nach Bedürfnis verwendet, aber nicht versäumt, die Bilder auf jedem Schritte an neuen Erfahrungen zu prüfen.

Dann wird man auch nicht, wie es den Atomistikern vorgeworfen wurde, durch die Bilder geblendet, Thatsachen übersehen. Hierzu

führt jede wie immer geartete Theorie, wenn sie zu einseitig betrieben wird. Es war daran weniger eine specifische Eigentümlichkeit der Atomistik, als vielmehr der Umstand schuld, dass man noch zu wenig gewarnt war, den Bildern zu trauen. Der Mathematiker darf ebensowenig seine Formeln mit der Wahrheit verwechseln, sonst wird er in gleicher Weise geblendet. Dies sieht man an den Phänomenologen, wenn sie die vielen vom Standpunkte der speciellen Thermodynamik allein verständlichen Thatsachen nicht bemerken, an den Gegnern der Atomistik, wenn sie alles dafür Sprechende ignorieren, ja selbst an Kirchhoff, wenn er, seinen hydrodynamischen Gleichungen trauend, die Ungleichheit des Druckes an verschiedenen Stellen eines wärmeleitenden Gases für unmöglich hält.

Die mathematische Phänomenologie kehrte naturgemäss zu der dem Anschein entsprechenden Vorstellung der Kontinuität der Materie zurück. Dem gegenüber machte ich darauf aufmerksam, dass die Differentialgleichungen, welche sie benutzt, laut Definition blosse Grenzübergänge darstellen, welche ohne die Vorstellung des Gedankens einer sehr grossen Zahl von Einzelwesen einfach sinnlos sind. Nur bei gedankenlosem Gebrauche mathematischer Symbole kann man glauben, Differentialgleichungen von atomistischen Vorstellungen trennen zu können. Wird man sich vollkommen darüber klar, dass die Phänomenologen versteckt im Gewande der Differentialgleichungen ebenfalls von atomartigen Einzelwesen ausgehen, die sie allerdings für jede Erscheinungsgruppe anders, bald mit diesen, bald mit jenen Eigenschaften in kompliziertester Weise begabt denken müssen, so wird sich bald wieder das Bedürfnis nach einer vereinfachten einheitlichen Atomistik einstellen.

Die Energetiker und Phänomenologen hatten aus der geringen gegenwärtigen Fruchtbarkeit auf den Niedergang der Molekulartheorie geschlossen. Während diese nach der Meinung einiger überhaupt nur geschadet hat, so gaben doch andere zu, dass sie früher von Nutzen war, dass nahezu alle Gleichungen, welche den mathematischen Phänomenologen jetzt der Inbegriff der Physik sind, auf molekulartheoretischem Wege gewonnen wurden; aber letztere behaupteten, dass sie jetzt, wo man diese Gleichungen bereits hat, überflüssig geworden sei. Alle schworen ihr Vernichtung. Sie wiesen auf das historische Prinzip hin, dass oft die am meisten hochgehaltenen Ansichten in kurzer Zeit durch völlig verschiedene verdrängt werden, ja wie der heilige Remigius die Heiden, so mahnten sie die theoretischen Physiker, zu verbrennen, was man soeben noch angebetet hatte.

Allein historische Prinzipe sind mitunter zweischneidig. Gewiss zeigt die Geschichte oft unvorhergesehene Umwälzungen; gewiss ist es jetzt nützlich, die Möglichkeit im Auge zu behalten, dass das, was uns jetzt das Sicherste zu sein scheint, einmal durch etwas völlig anderes verdrängt werden kann; aber ebenso auch die Möglichkeit, dass gewisse Errungenschaften doch für alle Zeiten in der Wissenschaft bleiben werden, wenn auch in ergänzter und veränderter Form. Ja, nach dem genannten historischen Prinzip dürften die Energetiker und Phänomenologen gar nicht definitiv siegen, denn dann würde daraus sofort wieder ihr baldiger Sturz folgen.

Nach Clausius' Vorgang haben die Anhänger der speciellen Thermodynamik nie den hohen Wert der allgemeinen geleugnet; die Erfolge der letzteren beweisen daher nicht das Mindeste gegen die erstere. Es kann sich nur fragen, ob es neben diesen Erfolgen auch solche giebt, welche nur die Atomistik zu erreichen vermochte, und an solchen hat die Atomistik auch noch lange nach ihrer alten Glanzzeit viele bemerkenswerte aufzuweisen. Aus rein molekulartheoretischen Prinzipien hat van der Waals eine Formel abgeleitet, welche das Verhalten der Flüssigkeiten, der Gase und Dämpfe und der verschiedenen Übergangsformen dieser Aggregatzustände zwar nicht vollkommen genau, aber mit bewunderungswürdiger Annäherung wiedergiebt und zu vielen neuen Resultaten, z. B. der Theorie der entsprechenden Zustände, geführt hat. Molekulartheoretische Überlegungen zeigten gerade in neuester Zeit den Weg zu Verbesserungen dieser Formel, und es ist die Hoffnung nicht ausgeschlossen, zunächst das Verhalten der chemisch einfachsten Substanzen, namentlich Argon, Helium u. s. w., vollkommen genau darstellen zu können, so dass also gerade die Atomistik sich dem Ideale der Phänomenologen, einer alle Körperzustände umfassenden mathematischen Formel, am meisten genähert hat. Daran schloss sich eine kinetische Theorie der tropfbaren Flüssigkeiten.

Die Atomistik hat ferner, wie sie früher Licht auf das Avogadrosche Gesetz, die Natur des Ozons u. s. w. geworfen hatte, in neuerer Zeit wieder zur Versinnlichung und Ausarbeitung der Gibbsschen Dissociationstheorie beigetragen, welche dieser zwar auf einem anderen, aber doch auf einem allgemeine molekulartheoretische Grundvorstellungen voraussetzenden Wege gefunden hatte. Sie hat die hydrodynamischen Gleichungen nicht nur neu begründet, sondern auch gezeigt, wo dieselben, sowie die Gleichungen für die Wärmeleitung noch der Korrektion bedürfen. Wenn auch die Phänomenologie es sicher ebenfalls für wün-

schenswert hält, stets neue Versuche anzustellen, um etwa notwendige Korrektionen ihrer Gleichungen zu finden, so leistet die Atomistik hier doch viel mehr, indem sie auf bestimmte Versuche hinzuweisen gestattet, welche am ersten zur wirklichen Auffindung solcher Korrektionen Aussicht bieten.

Auch die specifisch molekulartheoretische Lehre vom Verhältnis der beiden Wärmekapacitäten der Gase spielt gerade heute wieder eine wichtige Rolle. Clausius hat dieses Verhältnis für die einfachsten Gase, deren Moleküle sich wie elastische Kugeln verhalten, zu $1\frac{2}{3}$ berechnet, ein Wert, der für keins der damals bekannten Gase zutraf, woraus er schloss, dass es so einfach gebaute Gase nicht giebt. Maxwell fand für dieses Verhältnis im Falle, dass sich die Moleküle beim Stosse wie nicht kugelige elastische Körper verhalten, den Wert $1\frac{1}{3}$. Da aber dasselbe für die bekanntesten Gase den Wert 1·4 hat, so verwarf Maxwell seine Theorie ebenfalls. Er hatte aber den Fall übersehen, dass die Moleküle um eine Achse symmetrisch sind; dann fordert die Theorie für das in Rede stehende Verhältnis genau auch den Wert 1·4.

Der alte Clausiussche Wert $1\frac{2}{3}$ war schon von Kundt und Warburg für Quecksilberdampf gefunden worden, aber wegen der Schwierigkeit dieses Versuches war er nie wiederholt worden und fast in Vergessenheit geraten. Da kehrte derselbe Wert $1\frac{2}{3}$ für das Verhältnis der Wärmekapacitäten bei allen von Lord Rayleigh und Ramsay entdeckten neuen Gasen wieder, und auch alle anderen Umstände deuteten, wie dies schon beim Quecksilberdampfe der Fall gewesen war, auf den von der Theorie geforderten, besonders einfachen Bau ihrer Moleküle hin. Welchen Einfluss hätte es auf die Geschichte der Gastheorie gehabt, wenn Maxwell nicht in dieses kleine Versehen verfallen wäre, oder wenn die neuen Gäse schon zur Zeit der ersten Rechnung Clausius' bekannt gewesen wären? Man hätte dann gleich anfangs alle von der Theorie geforderten Werte für das Verhältnis der Wärmekapacitäten bei den einfachsten Gasen wiedergefunden.

Ich erwähne endlich noch der Beziehungen, welche die Molekulartheorie zwischen dem Entropiesatze und der Wahrscheinlichkeitsrechnung lehrt, über deren reale Bedeutung sich ja streiten lässt, von denen aber wohl kein Unbefangener leugnen wird, dass sie unseren Ideenkreis zu erweitern und Fingerzeige zu neuen Gedankenkombinationen und sogar Versuchen zu geben im stande sind.

Alle diese Leistungen und zahlreiche frühere Errungenschaften der Atomlehre können durch die Phänomenologie oder Energetik absolut nicht gewonnen werden, und ich behaupte, dass eine Theorie, welche Selbständiges, in anderer Weise nicht Gewinnbares leistet, für welche obendrein so viele andere physikalische, chemische und krystallographische Thatsachen sprechen, nicht zu bekämpfen, sondern fortzupflegen ist. Der Vorstellung über die Natur der Moleküle aber wird man den weitesten Spielraum lassen müssen. So wird man die Theorie des Verhältnisses der Wärmekapacitäten nicht aufgeben, weil sie noch nicht allgemein anwendbar ist; denn die Moleküle verhalten sich nur bei den einfachsten Gasen und auch bei diesen nicht bei höchsten Temperaturen und nur hinsichtlich ihrer Zusammenstösse wie elastische Körper; über ihre nähere, gewiss enorm komplizierte Beschaffenheit aber hat man noch keine Anhaltspunkte; man wird vielmehr solche zu gewinnen suchen. Neben der Atomistik kann die ebenfalls unentbehrliche, von jeder Hypothese losgelöste Präcisierung und Discussion der Gleichungen einhergehen, ohne dass letztere ihren mathematischen Apparat, erstere ihre materiellen Punkte zum Dogma erhebt.

Bis heute aber herrscht noch der lebhafteste Kampf der Meinungen; jeder hält seine für die echte, und er möge es, wenn es in der Absicht geschieht, ihre Kraft den anderen gegenüber zu erproben. Der rapide Fortschritt hat die Erwartungen auf das höchste gespannt, was wird das Ende sein?

Wird die alte Mechanik mit den alten Kräften, wenn auch der Metaphysik entkleidet, in ihren Grundzügen bestehen bleiben oder einst nur mehr in der Geschichte fortleben, von Hertz' verborgenen Massen oder von ganz anderen Vorstellungen verdrängt? Wird von der heutigen Molekulartheorie trotz aller Ergänzungen und Modifikationen doch das Wesentliche übrig bleiben, wird einmal eine von der jetzigen total verschiedene Atomistik herrschen oder sich gar entgegen meiner Beweisführung die Vorstellung des reinen Continuums als das beste Bild erweisen? Wird die mechanische Naturanschauung einmal die Hauptschlacht der Entdeckung eines einfachen mechanischen Bildes für den Lichtäther gewinnen, werden wenigstens mechanische Modelle immer bestehen, werden sich neue, nicht mechanische als besser erweisen, werden die beiden Energiefaktoren einmal alles beherrschen, oder wird man sich schliesslich begnügen, jedes Agens als die Summe von allerhand Erscheinungen zu beschreiben, oder wird gar die Theorie zur blossen Formelsammlung und daran sich knüpfenden Discussion der Gleichungen werden?

Wird überhaupt je einmal die Überzeugung entstehen, dass gewisse Bilder nicht mehr von

einfacheren, umfassenderen verdrängt werden können, dass sie „wahr" sind, oder machen wir uns vielleicht die beste Vorstellung von der Zukunft, wenn wir uns das vorstellen, wovon wir gar keine Vorstellung haben?

In der That interessante Fragen! Man bedauert fast, sterben zu müssen lange vor ihrer Entscheidung. O unbescheidener Sterblicher! Dein Los ist die Freude am Anblick des wogenden Kampfes!

Übrigens möge man lieber das Naheliegende bearbeiten, als sich um so Fernes den Kopf zerbrechen. Hat doch das Jahrhundert genug geleistet! Eine unerwartete Fülle positiver Thatsachen und eine köstliche Sichtung und Läuterung der Forschungsmethoden vermacht es dem Kommenden. Ein spartanischer Kriegerchor rief den Jünglingen zu: Werdet noch tapferer als wir! Wenn wir, einer alten Gepflogenheit folgend, das neue Jahrhundert mit einem Segenswunsche begrüssen wollen, so können wir ihm fürwahr, an Stolz jenen Spartanern gleich, wünschen, es möge noch grösser und bedeutungsvoller werden, als das scheidende!

Πατρὸς ἀμείνων.

VORTRÄGE UND DISCUSSIONEN

von der 71. Naturforscherversammlung zu München.

C. Pulfrich, Über den von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellten stereoskopischen Entfernungsmesser.

An der Hand von Zeichnungen, Stereoskopbildern mit darin eingesetzten Messskalen und mehreren fertigen Entfernungsmessern von 50 cm, 87 cm und 144 cm Basis, bezw. 8-, 14- und 23facher Fernrohrvergrösserung führte der Vortragende folgendes aus: Der stereoskopische Entfernungsmesser beruht zum Unterschied von allen bisherigen Entfernungsmessern auf dem Sehen mit zwei Augen, indem er die dem Menschen von der Natur verliehene Gabe, mit seinen beiden parallel gerichteten Augen stereoskopisch zu sehen, direkt verwertet und des weiteren auf der Anwendung des von Helmholtz angegebenen sogenannten Telestereoskops, vermittelst dessen man imstande ist, die dem Sehen mit unbewaffneten Augen gesteckten Grenzen des Feldes der stereoskopischen Wahrnehmung je nach der Wahl der Basis des Instruments und der Fernrohrvergrösserung nach Belieben zu erweitern. In welcher Weise dieses Helmholtzsche Telestereoskop seine erfolgreiche praktische Verwirklichung und Verwertung durch die Bemühungen der Firma Carl Zeiss gefunden hat, dürfte durch die von der Firma in den letzten Jahren in den Handel gebrachten neuen Doppelfernrohre (Feldstecher, Relief- oder Scheren-Fernrohre und die neuerdings hergestellten Stand- oder Aussichtsfernrohre) genügend bekannt sein.[1]) Der stereoskopische Entfernungsmesser macht von einem derartigen Doppelfernrohr direkt Gebrauch. Aber in die Bildfeldebenen sind durch Zeichnung hergestellte und durch Photographie verkleinerte Marken mit Zahlen eingesetzt, welche beim Sehen mit beiden Augen als ein neues Raumbild von Marken sich darbieten, so, dass dieses Raumbild über dem Raumbild der Landschaft zu liegen scheint und die gesuchte Entfernung eines Landschaftspunktes unmittelbar an diesen künstlichen Merkzeichen abgelesen werden kann. Die stereoskopisch in die Tiefe führende Reihe bezw. Reihen von Marken sind somit direkt vergleichbar mit einem wirklichen Massstab, den man zur Messung der Entfernung in die Landschaft hineinlegt.

Diese dem Apparat zu Grunde liegende Idee ist der Firma im Anfang des Jahres 1893, ohne irgend einen Wegweiser für die praktische Verwirklichung, durch den vor kurzem verstorbenen Ingenieur Hector de Grousilliers in Charlottenburg mitgeteilt und zum Zweck der technischen Ausarbeitung der Methode und der wirtschaftlichen Verwertung übergeben worden. Die Neuheit und die Eigenart der Aufgabe machten umständliche Vorversuche und behufs allmählicher Überwindung der zahlreichen Schwierigkeiten die wiederholte Anfertigung von Versuchsmodellen nötig. Jetzt, nachdem alle Schwierigkeiten überwunden sind, hat die Firma mit der regelrechten fabrikationsmässigen Herstellung des Apparates begonnen. Auch sind bereits mehrere Apparate dieser Art in den praktischen Gebrauch übergegangen. Ein Referat über die Verwendung des Entfernungsmessers für militärische (infanteristische) Zwecke findet

1) Man vergleiche die bezüglichen Kataloge der Firma Zeiss und den Aufsatz von Dr. S. Czapski, Über neue Arten von Fernrohren für den Handgebrauch, Jena 1895.

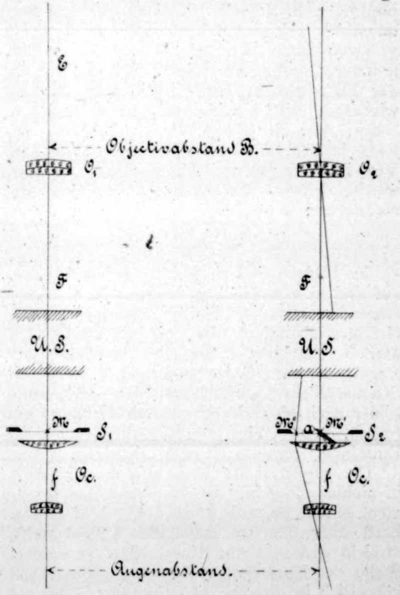
sich im „Militärwochenblatt" (Berlin) Nr. 66 vom 26. Juli d. J.

Was die innere Einrichtung des Entfernungsmessers anbetrifft, so ist in erster Linie folgendes von Bedeutung. Der Entfernungsmesser besteht aus zwei in starrer Verbindung miteinander befindlichen Fernrohren. Die Anpassung an die Augenweite des Beobachters geschieht ausserhalb des eigentlichen Messapparates allein durch Veränderung des Abstandes der beiden Okulare. Infolge dieser Anordnung ist für den regelrechten Gebrauch jedwede Störung der optischen Wirkung durch Richtungsänderungen der Fernrohre zu einander so gut wie ausgeschlossen. Zum Schutze der Fernrohre gegen Durchbiegung infolge einseitiger Temperatureinflüsse (Wind, Sonnenschein, Anfassen mit der Hand u. s. w.) und zum Schutz gegen äussere Beschädigungen durch Stoss u. s. w. sind die Fernrohre ausserdem in Umhüllungsrohre eingeschlossen, welche ohne Berührung mit den beiden Fernrohren an dem Mittelstück befestigt und aussen mit Leder, an den Enden mit Filzpolster überzogen sind. Dadurch ist erreicht, dass alle von aussen auf das Instrument einwirkenden Temperaturveränderungen von allen Seiten gleichmässig auf die inneren Teile sich übertragen, so dass selbst unter den ungünstigsten Witterungsverhältnissen eine Störung der Justierung des Instruments nicht beobachtet wird.

Insbesondere war auch die Durchbiegung der Fernrohre durch die Schwere bezw. die Veränderung dieser Durchbiegung mit der Veränderung des Elevationswinkels und deren Einfluss auf das Messungsresultat zu berücksichtigen. Es hat sich herausgestellt, dass bei Apparaten bis zu 50 cm Basis durch geeignete Wahl des Materials und des Rohrdurchmessers Vorkehrung dafür getroffen werden kann, dass diese Fehlerquelle noch nicht merklich in die Messung eingreift. Für diese kleineren Apparate konnte daher die bei den grösseren Modellen benutzte und von Prof. Abbe erfundene besondere Justierungseinrichtung (D. R.-P. Nr. 73,568, Anwendung von zwei sogenannten Gautier-Prandtlschen Reflexionsprismen mit konstanter Ablenkung, welche Prismen, vor das Fernrohrobjektiv gebracht, in kürzester Zeit und ohne Zuhilfenahme unendlich ferner Punkte die genaueste Parallelstellung der beiden Fernrohre ermöglichen) vollkommen entbehrt werden.[1])

Aber auch bei diesen kleinen Instrumenten sind Vorkehrungen getroffen, welche es dem Beobachter ermöglichen, etwaige Verrückungen in der relativen Lage von Bild und Skala, wie sie als die Folge von stärkeren äusseren Erschütterungen und Stössen auftreten können, jederzeit selbst, ohne Zuhilfenahme der Werkstätte, wieder zu beseitigen. Zu diesem Zwecke ist bei allen Apparaten jede der beiden Skalen auf einen Schlitten gesetzt und von aussen durch Stellstifte zum Verschieben eingerichtet, die eine Skala in vertikaler, die andere in horizontaler Richtung, so dass man im stande ist, die Verschiebungen der Bilder durch Nachrücken der Skalen wieder zu kompensieren.

Der Entfernungsmesser ist endlich noch mit Hilfseinrichtungen versehen, welche es ermög-



lichen, den Apparat auch für die Beobachtung bei Nacht und im Dämmerlicht zur Messung der Entfernung von Lichtern zu verwenden.

Die hierzu dienenden Hilfseinrichtungen bestehen aus zwei in der Mitte durchbrochenen weissen Schirmen, welche unter 45° zur Blickrichtung vor den Fernrohrobjektiven befestigt und durch eine vor die Mitte des Apparates gehaltene Lichtquelle beleuchtet werden. In dem dadurch gleichmässig erhellten Gesichtsfelde erscheint der zu messende Lichtpunkt als ein körperliches, frei in der Luft schwebendes Objekt und kann als solches wie jedes andere Objekt mit Hilfe der stereoskopischen Tiefenskala gemesen werden.

Die Berechnung der Lage der Marken geschieht in folgender Weise.[1]) In der obenstehenden Figur seien O_1 und O_2 die Objek-

1) Wegen der Justiereinrichtung vgl. des näheren die unter der obigen Nummer von seiten des Kaiserl. Patentamtes ausgegebene Patentschrift.

1) Siehe auch die Patentschrift D. R.-P. No. 82571.

tive des Doppelfernrohres, S_1 und S_2 die beiden Bildfeldebenen und *Oc.* die Okulare. Das Porrosche Prismensystem, durch welches die Aufrichtung des Bildes und die Verkürzung des Abstandes der Fernrohrachsen auf den Augenabstand *A* bewirkt wird, ist durch *U. S.* angedeutet. Die wirksame Basis — der Abstand der Objektivöffnungen — werde mit *B* bezeichnet.

Bei genau parallel gerichteten Fernrohrachsen sind in den beiden Bildfeldebenen die Bildpunkte, z. B. M und M', eines und desselben unendlich weit entfernten Objekts genau gleich gelegen; nicht so bei einem in endlicher Entfernung E gelegenen Objekt. Nehmen wir an, der Bildpunkt in der Bildfeldebene S_1 falle wiederum mit M zusammen, so ist sofort zu sehen, dass der Bildpunkt M' desselben Objekts in der Bildebene S_2 eine parallaktische Verschiebung (a) von M' nach M'' erleidet, welche sich aus der gegebenen Entfernung berechnet zu:

$$a = \frac{BF}{E}.$$

Im übrigen sind die Marken auf zwei, bezw. auf drei in verschiedener Neigung in die Tiefe führenden geraden Linien angeordnet. Die Grössenverhältnisse der aufeinanderfolgenden Marken derselben Reihe sind thunlichst den Regeln der Perspektive angepasst.[1]) Ferner ist den natürlichen Verhältnissen der Landschaftsbilder nach Möglichkeit dadurch Rechnung getragen, dass die einzelnen Markenreihen mit der Entfernung etwas nach oben ansteigen.

Die eigentliche Messung besteht dann in nichts anderem, als dass man das Instrument so hält, dass die Markenreihe frei in der Luft über dem zu messenden Objekt dahin streicht und man nun darauf achtet, an welcher Stelle der Markenreihe das betreffende Objekt körperlich in dieselbe sich einordnet. Fällt das Objekt zwischen zwei Marken, so wird der Bruchteil des Intervalls geschätzt.

Bezüglich der eingangs erwähnten Entfernungsmesser-Modelle von 50 cm, 87 cm und 144 cm Basis sei im einzelnen noch erwähnt, dass die Skala des ersten Modells die Entfernungen von 75 m bis 3000 m, die des zweiten Modells die Entfernungen von 300 m bis 5000 m und die des dritten Modells die Entfernungen von 700 m bis 10000 m umfassen.

Genauigkeitsgrad und sonstige charakteristische Merkmale der stereoskopischen Entfernungsmessung. Über die Genauigkeit der stereoskopischen Entfernungsmessung bezw. über die Empfindlichkeit der stereoskopischen Tiefenunterscheidung sind in Jena gleich zu Anfang der Versuche und auch weiterhin ausgedehnte Studien sowohl mit den verschiedenen Entfernungsmessermodellen als auch mit eigens dafür konstruierten Apparaten angestellt worden, welche demnächst im Zusammenhang publiziert werden sollen. Die Hauptpunkte, welche sich hierbei ergeben haben, lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen.

Die stereoskopische Verschmelzung der Netzhautbilder im binokularen Sehen führt ganz besonders günstige Bedingungen für die Ausnützung der Sehschärfe eines Beobachters herbei, sofern nur die beiden Augen des Beobachters annähernd die gleiche Sehschärfe haben.[1]) Für gewöhnlich gute Augen kommen parallaktische Richtungsunterschiede von weniger als 30 Sekunden im freien Sehen (entgegen der bekannten Helmholtzschen Angabe von einer Minute) mit Sicherheit als Tiefenunterschiede im Raumbild zum Bewusstsein. Jugendliche Personen, welche recht scharfe Augen besitzen und diese bei ihrer täglichen Beschäftigung in gleichmässiger Übung haben erhalten können, erreichen sogar eine noch viel weitergehende Tiefenunterscheidung — bis zu zehn Sekunden und noch weniger im freien Sehen —, wie ausgedehnte Versuche mit Arbeitern der Werkstätte und anderen Personen gezeigt haben.

Personen der vorbezeichneten Art bedürfen in der Regel nur einer sehr kurzen Übungszeit, um zu dem Maximum ihrer Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Tiefenunterscheidung zu gelangen. Dagegen haben die Erfahrungen mit älteren und namentlich mit solchen Personen, welche in ihrem Leben sehr viel mit einem Auge beobachtet, z. B. mikroskopiert haben und hierbei eine gewisse Fertigkeit in der Unterdrückung des Eindruckes erlangt haben, welchen das bei der Beobachtung des Objekts nicht beteiligte Auge empfängt, gezeigt, dass sowohl die Raumvorstellung der Skala als auch die Genauigkeit der Messung erst durch längere Übung so weit gefördert wird, dass auch solche Personen für die stereoskopische Entfernungsmessung mit Vorteil benutzt werden können.

Das vorstehend angegebene Resultat für die Grenze der Tiefenunterscheidung ist mit den Untersuchungen von Cohn (Breslau) und Wülfing (Tübingen) über die Sehschärfe des einzelnen Auges, beziehungsweise den kleinsten noch sichtbaren Winkel durchaus im Einklang. Der Unterschied ist hier aber der: Während bei dem Sehen mit einem Auge die angegebene äusserste

1) Die einzelnen Marken können übrigens ausser zur eigentlichen Entfernungsmessung ohne weiteres auch zum Messen in der Ferne, d. h. zum Ausmessen der Höhe und der Breite entfernter Gegenstände, verwertet werden.

1) Selbstverständlich ist bei dem Entfernungsmesser in der gleichen Weise wie bei den Zeiss-Feldstechern die Einrichtung getroffen, dass man die Oculare einzeln für jedes Auge einstellen kann.

Grenze der Sehschärfe im Betrage von rund zehn Sekunden nur unter ganz besonders günstigen Versuchsbedingungen (scharf markierte Objekte, Einstellung auf Fadenkreuz, Ablesung von Teilungen mit Nonius u. s. w.), wo Symmetrie und Helligkeit den Vergleich unterstützen, erreicht wird, in allen anderen Fällen aber weit hinter derselben zurückbleibt, ist beim stereoskopischen Sehen die für je einen Beobachter erzielte äusserste Grenze der Genauigkeit der Messung so gut wie unabhängig von der Art und dem Aussehen der anvisierten Objekte. Gegenstände, welche gar keine markierten Punkte darbieten, bei welchen also ein Pointieren der gewöhnlichen Art völlig ausgeschlossen ist, wie etwa eine entfernte Bodenfalte, unregelmässiges Buschwerk oder der Saum eines Waldes, aber auch solche Dinge, die nicht einmal Konturen zeigen, wie eine Rauch- oder Staubwolke, lassen an der stereoskopischen Tiefenskala ebenso sich einstellen, wie eine Kirchturmspitze, solange durch das Fernrohr gesehen sie noch vom Hintergrunde sich abheben. Die Unterschiede besserer oder schlechterer Beleuchtung und grösserer oder geringerer Durchsichtigkeit der Luft kommen wegen der durch das Sehen mit beiden Augen bewirkten Lokalisation des Objekts im Raum weniger als bei jedem anderen Entfernungsmesser in Betracht.

Was insbesondere die durch die Unruhe des Bildes bewirkte Störung anbetrifft — beispielsweise beim Beobachten über eine von der Sonne bestrahlte Ebene —, so ist sofort zu sehen, dass die Unruhe des Bildes an sich für die Messung ohne Nachteil ist. Denn in jedem einzelnen Moment sind die Ablenkungen der Lichtstrahlen im rechten und linken Fernrohr wegen des zur Entfernung geringen Abstandes der Objektive sehr nahe die gleichen. Aber der Umstand, dass diese Ablenkungen in beiden Fernrohren nicht vollkommen genau übereinstimmen, bewirkt, dass das Objektbild in schneller Aufeinanderfolge seine scheinbare Entfernung vom Beobachter wechselt. In solchen Fällen beobachtet man die Extremwerte und nimmt das Mittel.

Die Erklärung für diese charakeristischen Vorzüge der stereoskopischen Entfernungsmessung wird darin erblickt, dass bei dem gewöhnlichen Pointierverfahren durch monokulare Beobachtung immer nur ein einzelner für die Messung mehr oder weniger geeigneter Punkt des Objekts benutzt wird, dass dagegen bei dem gleichzeitigen und binokularen Betrachten der beiden Objektbilder diese in ihrer ganzen Ausdehnung thätig sind, das stereoskopische Bild des Objekts an einer bestimmten Stelle des Raumes festzuhalten.

Es ergiebt sich ferner von selbst, dass die Beobachtung beweglicher Objekte, z. B. von fliegenden Vögeln oder eines Luftballons oder einer Wolke am Himmel, nicht nur ausführbar ist, sondern gerade wegen der Isolierung des Objekts von der Umgebung für die stereoskopische Tiefenwahrnehmung besonders günstige Bedingungen herbeiführt. Ebenso ist ersichtlich, dass eine feste Aufstellung des Entfernungsmessers nicht erforderlich ist, die Benutzung eines Stativs daher nur geraten erscheint, um das Gewicht des Instruments zu tragen. Der obenerwähnte achtfache Entfernungsmesser wiegt ungefähr 3 kg und kann bequem noch mit freier Hand gebraucht werden. Die beiden grösseren Modelle bedürfen eines Stativs. Ihr Gewicht beträgt 8, bezw. 13,5 kg.

Die für eine bestimmte Entfernung erzielte Genauigkeit der Messung ist ausser von der durch die Sehschärfe des menschlichen Auges bedingten Grenze der stereoskopischen Tiefenwahrnehmung ($\delta = 30$ Sekunden) noch abhängig von den beiden nachstehenden optischen Konstanten des Doppelfernrohres: von dem Objektivabstand B und der Fernrohrvergrösserung V. Sind diese gegeben, so lassen sich die den einzelnen Apparaten und Entfernungen E zugehörigen Fehler der Messung ohne weiteres berechnen zu:

$$dE = -\frac{E^2}{BF}\,da = -\frac{E^2}{B\cdot V}\,\delta.$$

Für die numerische Berechnung von dE schreiben wir einfacher:

$$dE = \frac{E^2}{R},$$

in welchem Ausdruck R den nachstehenden Wert hat:

$$R = r \times \frac{B}{A}\,V.$$

Hierin bedeutet der Faktor $\frac{B}{A}V$ die durch das Doppelfernrohr erzielte sog. totale Plastik des Bildes. Die numerischen Werte für diese Plastik — diejenige im freien Sehen gleich 1 gerechnet — ergeben sich für die drei eingangs erwähnten Entfernungsmesser-Modelle der Reihe nach zu 63, 188 und 510. Der andere Faktor, r, ist der Radius des stereoskopischen Feldes im freien Sehen, mit anderen Worten diejenige Entfernung, in welcher ein Objekt unter einem Konvergenzwinkel der Augen im Betrage von 0,5 Minute gesehen wird und daher von der dahinter befindlichen „Unendlichkeit" eben noch körperlich sich abhebt. Für einen mittleren Augenabstand $A = 65$ mm erhält man den Wert $r = A/\delta$ zu $r = 447$ m. Der Radius R des durch die gesteigerte Plastik erweiterten stereoskopischen Feldes ist somit für die drei obigen Modelle der Reihe nach gleich

28 km, 84 km und 228 km.

Wir erhalten demnach die in nachstehender Tabelle verzeichneten Fehler:[1]

Entfernung	I. Modell 8fach, 50 cm Basis	II. Modell 14fach, 87 cm Basis	III. Modell 23fach, 144 cm Basis
500 m	9 m	3 m	—
1000 m	35 m	12 m	5 m
2000 m	141 m	50 m	18 m
4000 m	564 m	200 m	70 m
8000 m	—	800 m	280 m

Selbstverständlich gelten diese Fehlerwerte nur für vollkommen durchsichtige und ruhige Luft. In dem Masse, wie die Trübung der Luft und deren Unruhe zunehmen, nehmen auch die Fehler mit wachsender Entfernung schneller zu, wie in der vorstehenden Tabelle angegeben ist.

Für das kleinere, aus freier Hand zu benutzende Instrument kann eine Prüfung der Fehlerwerte leicht in der Weise ausgeführt werden, dass man dem Objekt so weit sich nähert, bis die betreffende Marke in genau der gleichen Entfernung erscheint wie das Objekt, diese Einstellung mehrere Male wiederholt und hierauf die gefundenen Aufstellungen des Apparats hinsichtlich ihres Ortes miteinander vergleicht.

Der Vortragende erläutert hierauf noch kurz eine zweite Art der Ausführung des stereoskopischen Entfernungsmessers, deren charakteristisches Merkmal darin besteht, dass statt der Reihe von Marken in jedem einzelnen Gesichtsfeld nur eine einzige Marke sich vorfindet, welche Marke aber — entweder durch mikrometrische Bewegung der einen oder der anderen der beiden Marken in der Richtung der geraden Verbindungslinie oder durch mikrometrische Verschiebung des einen oder des anderen der beiden Landschaftsbilder in gleicher Richtung — ihren scheinbaren Ort im Raum stetig ändert und in bestimmter Stellung des die Bewegung des Bildes vermittelnden „Kompensators" in gleicher Entfernung erscheint, wie das zu beobachtende Objekt. Die gesuchte Entfernung wird dann vom Beobachter oder von einem anderen an der Trommelteilung des Kompensators abgelesen. Der Vorteil dieser Messmethode mit wandernder Marke gegenüber der Anwendung einer Skala besteht darin, dass man hintereinander mehrere voneinander vollständig unabhängige Einstellungen machen und dadurch die Sicherheit der Messung erhöhen kann. Andererseits geht hierbei der die Anwendung einer Skala auszeichnende Vorteil der leichteren Übersicht und des schnellen Erfassens der Entfernungen verschiedener Objekte mehr oder weniger verloren.

Zum Schluss zeigt dann der Vortragende noch einen Apparat zur Ausmessung des Augenabstandes für parallel gerichtete Augen und einen weiteren hierfür ebenfalls verwendbaren Demonstrationsapparat — ohne Linsen, aus zwei nebeneinander gelegten Metallrohren bestehend und mit entsprechenden Marken an dem Ende der beiden Rohre —, mit dessen Hilfe eine Reihe von instruktiven Versuchen über das stereoskopische Sehen im allgemeinen und die stereoskopische Entfernungsmessung im besonderen sich anstellen lassen.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Discussion (Von den Beteiligten durchgesehen.)

Lummer. Man nahm bisher an, dass das unbewaffnete Auge Gegenstände trennt, die unter einer Winkelminute erscheinen. Bei grösserem Augenabstande und unter Benutzung vergrössernder Fernrohre wird natürlich die Grenze der Auflösung entsprechend herabgedrückt, so dass, wenn jener Faktor 60 ist, eine Winkelsekunde als Grenze angenommen werden kann. Unter diesen Annahmen wird aber ein nach dem telestereoskopischen Prinzip gebauter Fernmesser zu ungenau, der noch handliche Dimensionen haben soll. Ich möchte nun gern wissen, ob die von Herrn Pulfrich angegebene Grenze einer grösseren Sehschärfe des Auges erst dadurch erreicht wird, dass man als Messprinzip nach dem Vorschlag des Herrn Grousilliers eine Okularskala in die Landschaft hinausprojiziert?

Pulfrich. Das ist doch wohl ein Irrtum. Eine Minute als Grenze der Sehschärfe hat man, gestützt auf Helmholtz, immer angenommen. Das ist aber nicht richtig. Man kann, wie wir durch eigene Versuche festgestellt haben, viel weiter gehen. Auch die Versuche, die von Cohn in Breslau an Schulkindern angestellt wurden, sagen uns, dass man mit der Grenze viel weiter gehen kann.

Lummer. Das hängt doch von der Helligkeit bezw. der Helligkeitsdifferenz der zu beobachtenden Objekte ab. Einen Beduinen am klaren Horizont des Wüstenhimmels sieht man, auch wenn er weit unterhalb einer Bogenminute erscheint.

Pulfrich. Gewiss, aber derartige Unterbrechungen der Helligkeit einer sonst gleichmässig erhellten Fläche haben mit der vorliegenden Frage direkt nichts zu thun.

Lummer. Gut, nehmen wir an, die Grenze der Sehschärfe sei kleiner gefunden als eine Bogenminute; dann möchte ich wissen, was die Einführung der Skala mit dieser vergrösserten Sehschärfe zu thun hat und ob durch sie die Grenze unserer Sehschärfe weiter gerückt wird?

Pulfrich. Nein, die Einführung der Messskala ist eine Sache für sich.

v. Hefner-Alteneck. Ich habe mit Bedauern gehört, dass Grousilliers bereits tot ist. Weil er also seine Anschauungen hier nicht vertreten kann, so will ich als sein einstmaliger

Kollege hier aussprechen, dass sein Anteil an der Erfindung nicht gar so gering ist, obwohl ich gewiss der letzte bin, zu behaupten, dass das Aussprechen einer Idee genügt; die Durcharbeitung ist sicherlich die Hauptsache. Grousilliers hat sich mit seiner Idee an mich gewendet, ich habe mit Helmholtz darüber gesprochen, und Helmholtz hat mit aller Bestimmtheit gesagt, die Sache ginge nicht. Ich glaube, dass es ein grosses Verdienst von Grousilliers ist, diese Idee, die eine überaus glückliche ist, angeregt zu haben. Es handelt sich hier um einen Apparat, für den schon eine unendliche Menge von Arbeit aufgewendet ist. Denn eine ganze Anzahl von Mechanikern hat es versucht, einen Distanzmesser zu konstruieren, und sie sind nicht damit zu stande gekommen. Ich habe den Eindruck, dass der hier vorgezeigte Apparat das vollendetste Instrument dieser Art ist. Ich bedaure, dass es nicht geheim gehalten worden ist; denn seine grösste Bedeutung scheint mir auf militärischem Gebiete zu liegen.

Pulfrich. Auf die letzte Frage des Herrn Vorredners bedaure ich, keine Auskunft geben zu können. Im übrigen möchte ich bemerken, dass uns Grousilliers, als er im Jahre 1893 an uns herantrat, geschrieben hat, dass sowohl Kundt als auch Helmholtz ihm die Richtigkeit des Prinzips und die praktische Möglichkeit der Ausführung des Instruments bestätigt hätten. Kundt habe ihm dann geraten, sich eben wegen der Ausführung des Instruments nach Jena an Professor Abbe zu wenden.

Stabsarzt Seitz. Bezüglich der Sehschärfe will ich bemerken, dass aus vielen Untersuchungen mit Hilfe der Cohnschen Sehtafeln hervorgeht, dass sie über eine Bogenminute hinausreicht. Wir haben bei den Mannschaftsuntersuchungen festgestellt, dass die Sehschärfe eine weitaus grössere ist, wie wir sonst immer vermuteten. Gegenstände, die auf 6 m Entfernung gesehen werden sollten, wurden von der Hälfte der Soldaten auf 8—10 m gesehen. Nach Berichten von Reisenden werden solche Gegenstände von Beduinen auf 27—28 m Entfernung gesehen und habe ich selbst Fussartilleristen gefunden, welche die gleiche Sehschärfe, also 2—3 mal besser als normal, besassen.[1])

Lummer. Es kann doch Helmholtz wegen seines Urteils zur damaligen Zeit kein Vorwurf treffen. Ich habe selbst das Gutachten geschrieben, und Helmholtz hat es unterschrieben. Wenn man damals als Grenze für das Auflösungsvermögen des Auges eine Bogenminute annahm, so nahm es eben die Wissenschaft an. Wenn der Verlauf der Versuche das anders gelehrt hat, so ist das eine neue Erkenntnis. Ich begreife aber auch dann noch nicht, wieso die Einführung des Grousillierschen Prinzips, also das Hineinprojizieren der Skala in die Landschaft, unsere Sehschärfe vergrössert. Das ist mir noch unklar und darüber wollte ich gern Aufschluss erlangen. Wenn das Wesentliche die Erkenntnis ist, dass wir bisher unsere Sehschärfe (1 Bogenminute) als zu gering angenommen haben, da sie nach Pulfrich etwa $^1/_6$ Bogenminute sein soll, so ist das eine neue Thatsache, eine neue Erkenntnis. Im wesentlichen ist das neue Instrument dann doch das Telestereoskop von Helmholtz, dessen Genauigkeit lediglich von der Sehschärfe und jenem Faktor (Vergrösserung mal vergrösserter Augenabstand) abhängt. Wie man misst, ist für die Genauigkeit gleichgültig, ob mit Hilfe einer Winkelmessung oder mittels der Grousilliersschen Skala.

v. Hefner-Alteneck. Es wäre aber nicht von neuem in Angriff genommen worden, wenn nicht Grousilliers' Idee die Anregung dazu gegeben hätte. Und weiter hat Grousilliers sich schon dahin ausgesprochen, dass es möglich ist, auf diese Art einen praktischen Distanzmesser zu konstruieren, und auch die Genauigkeit hat er höher geschätzt.

Lummer. Das hat er nicht ausgesprochen.

Pulfrich. Das Hineintragen der Skala in das Raumbild der Landschaft erhöht die Empfindlichkeit der stereoskopischen Tiefenunterscheidung überhaupt nicht. Diese letztere ist an sich viel grösser, als sie von Helmholtz angenommen wurde.[1]) Im übrigen war die Idee, so wie sie uns vorgelegt wurde, nur eine ungelöste Aufgabe. Über etwaige frühere Versuche, welche für uns hätten von Wert sein können, ist uns nichts bekannt geworden. Zum Beweise dafür, mit welchen Schwierigkeiten wir bei der Durcharbeitung zu kämpfen hatten, will ich nur anführen, dass wir fast drei Jahre gebraucht haben, bis das erste gebrauchsfähige Instrument fertig war.

v. Hefner-Alteneck. Ich kann nur wiederholen, dass Grousilliers mit seiner Idee die Anregung zu dem neuen Distanzmesser gegeben hat. Selbst gearbeitet hat er daran nicht, und konnte er nach Lage der Dinge auch nicht. Nichts liegt mir ferner, als die grundlegenden Arbeiten Helmholtz' herabzusetzen, oder Helmholtz einen Vorwurf zu machen.

Lummer. Und ich wollte nur betonen, dass wir auf Grund des damaligen Standes der Wissenschaft richtig geurteilt haben. Soweit eine

1) Münchener med. Wochenschr. 1897, S. 1042.

1) Ich will hierzu noch ausdrücklich bemerken, dass selbst für den Fall, dass eine Bogenminute die Grenze bilde, die Vorteile des stereoskopischen Entfernungsmessers im Vergleich mit anderen Apparaten dadurch nicht geschmälert werden; denn diese eine Minute würde bei dem stereoskopischen Entfernungsmesser unter allen Umständen, bei den anderen Apparaten nur in wenigen Grenzfällen erreicht werden. (Man vergleiche meine obigen diesbezüglichen Ausführungen.)

Bogenminute als Grenze richtig war, war unser Gutachten richtig, und dann konnte das Instrument trotz der Grousilliersschen Skala wegen zu geringer Genauigkeit (bei handlichen Dimensionen) dem Militär nicht dienen. Die neue Erkenntnis der grösseren Sehschärfe haben wir jetzt erst gemacht, der Beweis dafür scheint erst am fertigen Instrumente erbracht worden zu sein.

Martens. Wenn das Auflösungsvermögen des Auges kleiner als 1 Minute gefunden wird, so wäre das sehr interessant. Es läge dann nahe, zu sagen, dass es begrenzt ist durch die Beugungswirkung der beschränkten, etwa 5 mm betragenden Öffnung der Pupille und nicht von der Beschaffenheit der Netzhaut abhängt.

Pulfrich. Wir haben gefunden, dass das Maximum der Sehschärfe in der Regel schon erreicht wird, wenn der Durchmesser der Pupillenöffnung 2 bis $2\frac{1}{2}$ mm beträgt.[1]

Martens. Das wäre doch sehr merkwürdig. Die Beugungstheorie würde das beste Auflösungsvermögen bei der grössten, etwa 5 mm betragenden Pupillenbreite ergeben, die Thatsachen würden zeigen, dass es bei einer kleineren Pupillenbreite besser ist.

1) Bei einer 5 mm grossen Pupillenöffnung wird die Messung zu sehr durch die Unvollkommenheiten des Auges beeinflusst. Auch würde die Anwendung einer ebenso grossen Austrittspupille des Instruments nur das Gewicht desselben vergrössern, im übrigen aber nur wenige Vorteile bringen, da unter den gewöhnlichen Helligkeitsverhältnissen am Tage die Pupillenöffnung meist kleiner ist als 5 mm.

REFERATE.

Allgemeine Chemie.

Besorgt von Privatdocent Dr. A. Coehn.

Über eine quantitative elektrolytische Trennungsmethode der Halogene Chlor, Brom, Jod. Von Heinrich Specketer. Ztschrft. f. anorgan. Chem. 21, S. 273 (1899).

Die Arbeiten von Le Blanc haben gezeigt, dass jedem Ion ein bestimmtes Entladungspotential entspricht. Es hat sich als möglich erwiesen, Metalle, deren Entladungspunkte nicht zu nahe aneinander liegen, durch Abstufung der elektromotorischen Kraft zu trennen. Die vorliegende Arbeit unternimmt es, dieses Prinzip für die quantitative Trennung von Metalloiden zu verwerten. Auf die Wahrscheinlichkeit günstigen Erfolges wiesen die grossen Unterschiede der Entladungspotentiale der Halogene $Cl = 1{,}31$ V., $Br = 0{,}94$ V., $J = 0{,}52$ V. Den Nullpunkt für diese Werte bildet das Entladungspotential des Wasserstoffs aus einer für diesen normalen Lösung. Die Trennung der Halogenwasserstoffe gelang zunächst nicht, da die an der Anode entladenen Halogene im Gegensatz zu den Metallen keine haftenden Überzüge bilden, sondern in die Lösung diffundieren und so an der Kathode zur Rückbildung der Wasserstoffverbindungen Anlass geben.

Zum Ziele führte eine andere Methode, welche auf der Überführung der Halogene in ihre Silberverbindungen beruht, indem man zwischen einer Platinkathode und einer Silberanode elektrolysiert. Die Anwendung der Formel von Nernst führt zur Bestimmung derjenigen elektromotorischen Kraft, welche zur Überführung des Silbers in die verschiedenen Silberhalogene erforderlich ist. Dabei ist aber Voraussetzung, dass durch den Vorgang an der Kathode keine wesentliche Änderung der Zersetzungsspannung herbeigeführt wird — wie das der Fall ist, wenn nur Wasserstoff abgeschieden wird. Vollzieht sich aber die Elektrolyse an der Luft, so wirkt der Sauerstoff an der Kathode depolarisierend. Durch diesen Vorgang wird eine elektromotorische Kraft von 1,08 Volt geliefert, um welchen Betrag also die angewendete elektromotorische Kraft gesteigert würde. Um diesen Fehler zu umgehen, ist es erforderlich, eine Wasserstoffatmosphäre über dem Elektrolyten zu erhalten.

Von Interesse ist noch die Vorrichtung, durch welche es ermöglicht wird, bei beträchtlicher Stromabgabe eine konstante Spannung zu erhalten, die ohne weiteres verändert werden kann. Es wird hierzu eine Thermosäule durch einen geringen Widerstand geschlossen und von diesem mittels eines Gleitkontaktes die Arbeitsspannung abgenommen.

Die Resultate sind zufriedenstellend. Von Küster war festgestellt, dass die amorphen Niederschläge, die beim Fällen von Chlorsilber und Bromsilber aus einer gemischten Lösung von Chlorkalium und Bromkalium entstehen, feste Lösungen bilden. Es hat sich gezeigt, dass unter den in der vorliegenden Arbeit angewendeten Bedingungen solche feste Lösungen nicht entstehen. Es wäre sonst die Trennung nicht möglich gewesen. Wahrscheinlich schlagen sich bei der äusserst langsamen elektrolytischen Abscheidung die Silberhaloide krystallinisch nieder, in diesem Zustande aber ist die Mischbarkeit weit geringer als im amorphen Zustande.

Coehn.

Personalien.

Prof. A. Bantlin aus Braunschweig ist auf den neu errichteten Lehrstuhl für maschinentechnische Fächer an die Technische Hochschule in Stuttgart berufen.

Privatdocent G. Rasch aus Karlsruhe ist als Professor für Elektrotechnik an die Technische Hochschule in Aachen berufen.

An der Universität Leipzig hat sich Dr. H. Liebmann für Mathematik habilitiert.

Der ausserordentliche Professor der anorganischen Chemie in München Dr. W. Muthmann ist zum ordentlichen Professor ernannt.

Für die Redaktion verantwortlich Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.